

DBF用光ファイバ給電ダイレクトデジタルRF送信機に関する研究

著者	田村 涼
雑誌名	東北大学電通談話会記録
巻	90
号	1
ページ	132-133
発行年	2021-08-20
URL	http://hdl.handle.net/10097/00132845

修士学位論文要約（令和3年3月）

DBF 用光ファイバ給電ダイレクトディジタル RF 送信機に関する研究

田村 涼

指導教員：末松 憲治

A Study on Optical-Fiber-Feed Direct Digital RF Transmitter for DBF System

Ryo TAMURA

Supervisor: Noriharu SUEMATSU

In this study, I proposed optical-fiber-feed Direct Digital RF transmitter to realize a Digital Beam Forming (DBF) transmitter in high Super High Frequency (SHF) band. Direct Digital RF transmitter can generate RF signal at high frequency band by using the image component of 1-bit $\Delta\Sigma$ modulated signal. The transmitter does not require frequency conversion circuit and optical links can be used as a feed cable. Therefore, it is possible to realize the miniaturization and low complexity of the DBF transmitter. On the other hand, Signal to Noise Ratio (SNR) of the image component is deteriorated by optical fiber transmission. To solve this problem, I propose the configuration using Clock and Data Recovery (CDR) circuit. The measurement results show that the SNR is improved by about 10 dB compared to the configuration without CDR circuit. In addition, a four-element DBF system that consists of the proposed transmitter is fabricated. In order to evaluate the DBF characteristics, radiation pattern measurements are carried out. The measurement results show good performance. Furthermore, a technique to reduce out-of-band quantization noise is proposed. From the measurement results, the proposed method can reduce the out-of-band quantization noise by about 6 dB.

1. はじめに

5G 以降の移動体通信では、高速・大容量通信のため高 SHF 帯 (6 GHz~) を利用する。この基地局では 256 素子等の多素子アンテナによる DBF (Digital Beam Forming) が検討されている¹⁾。DBF は高いビームの柔軟性を得られる一方で、アンテナ素子毎に RF 送信回路が必要であり、屋外の送信機装置が大型になること、数百本の RF ケーブルが必要でその取り回しが煩雑であること等の理由で高 SHF 帯では実現が難しい。

本研究では、光ファイバ給電ダイレクトディジタル RF 送信機による DBF 送信機を提案する。この構成を図 1 に示す。光ファイバ給電²⁾による信号給電線の取り回し容易化、およびダイレクトディジタル RF 送信機³⁾による RF 送信回路の小型化を図る。本研究ではこの実現に向けた課題である光ファイバ給電時の SNR (Signal to Noise Ratio) 低下抑制手法について検討し、その後提案構成による DBF の実証実験を行った。加えて、ダイレクトディジタル RF 送信機固有の帯域外雑音放射について、この低減手法を検討した。

2. 光ファイバ給電時によるイメージ信号の SNR 低下抑制手法の検討

ダイレクトディジタル RF 送信機は、RF 信号を Band Pass $\Delta\Sigma$ 変調により 1-bit のディジタル信号列に変換する。このため屋内-屋外ユニット間の伝

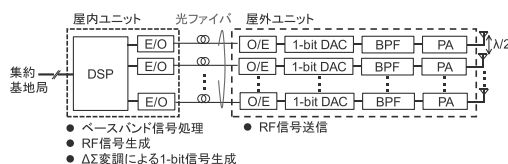


図 1 提案する DBF 送信機構成

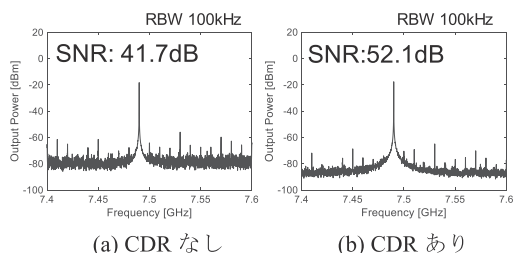


図 2 イメージ信号(7.5 GHz)のスペクトラム

送信号は 1-bit 信号であり、10GbE (10 Gigabit Ethernet) 等向けに作られた光伝送系を利用可能である。ダイレクトディジタル RF 送信機では、この 1-bit 信号のナイキストレート以上の周波数に発生するイメージ成分を送信波として利用する。一方で、10GbE 等の市販の光伝送系 (SFP+) は、10 Gbps 伝送であるため、ナイキスト定理より 5 GHz を超える RF 信号成分は SNR が低下し、送信波としての利用が難しい。

本研究では、光/電気変換部において CDR (Clock and Data Recovery) を行うことによるイメージ信号の SNR 低下抑制を提案する。光伝送後の 1-bit 信号からクロックを抽出し、リサンプリングすることで 1-bit 波形を再形成する。これにより、立ち上がり/立ち下がりが急峻になることで高調波成分が生成され、イメージ成分の SNR を改善する。

CDR による SNR の改善効果を確認するため、光伝送系に CDR を用いた場合と用いない場合について 2 次ナイキストゾーンのイメージ信号 (CW (Continuous Wave) 波, 7.5 GHz) 伝送実験を行い、それぞれの SNR を評価した。伝送路は 5 m の Single Mode Fiber とした。この結果、図 2(a) に示す CDR 無しの場合に比べて図 2(b) に示す CDR 有りの場合は SNR が 10.4 dB 向上した。したがって、提案手法がイメージ信号の SNR 改善に有効であることを確認した。

3. 光ファイバ給電ダイレクトディジタル RF 送信機による DBF の実証

提案送信機の実証実験のため、4 素子の DBF 送信機を試作した。送信機の外観を図 3 に示す。この送信機を用いてイメージ信号 (CW 波, 7.5 GHz) を用いた DBF を行い、その放射パターンを測定した。測定では 0° 方向および 30° 方向にビームを形成した。図 4 に放射パターンの測定結果を示す。測定結果より、メインローブが 0° 方向および 30° 方向に形成されていることを確認し、光ファイバ給電ダイレクトディジタル RF 送信機によるイメージ信号を用いた DBF 動作を実証した。

4. 帯域外雑音放射の低減手法の検討

ダイレクトディジタル RF 送信機では、 $\Delta\Sigma$ 変調により RF 信号を 1-bit 信号に変換する。 $\Delta\Sigma$ 変調は、量子化雑音成分を信号帯域外に形成するノイズシェーピングを行うことで信号帯域の SNR を確保する。このため、信号帯域外に放射される量子化雑音が課題となる。とくにアレーアンテナにおいて各素子から同じ 1-bit $\Delta\Sigma$ 信号列を出力する場合は、信号成分、量子化雑音成分ともに同相で合成されるため、信号のビーム方向で量子化雑音成分が増加する。

本研究では、各素子から異なる $\Delta\Sigma$ 変調波を出力し、空間合成することによる量子化雑音の低減を提案する。各素子で異なる 1-bit 信号列を生成すれば、各素子間の量子化雑音成分の相関が低下するため、指向性が低下し特定方向での量子化雑音増加を低減できる。この効果検証のため実証実験を行った。各素子から同じ 1-bit 信号列を出力する場合 (メインローブ 0° 方向) と、素子間でわずかに位相差のある RF 信号を $\Delta\Sigma$ 変調し、各素子で異なる信号列を生成した場合 (素子間で位相差 3 度, メインローブ 1° 方

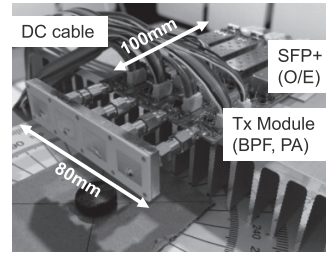


図3 試作した DBF 送信機 (外観)

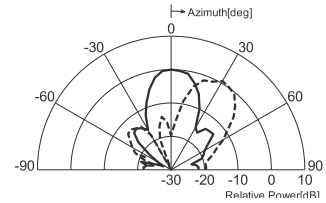
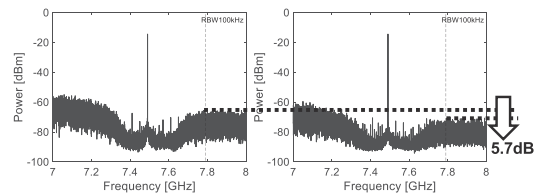


図4 放射パターン測定結果 (7.5GHz)



(a) 同じ信号列の場合 (b) 異なる信号列の場合

図5 0° 方向での受信スペクトラム

向) について、0° 方向における受信スペクトラムを比較した。この結果、図 5(a) に示す各素子から同じ信号列を送信した場合に比べて図 5(b) に示す各素子で異なる信号列を送信した場合は、帯域外の量子化雑音が 5.7 dB 低減し、提案手法の有効性が示された。

5. まとめ

高 SHF 帯用 DBF 送信機実現のため光ファイバ給電ダイレクトディジタル RF 送信機による構成を提案した。光ファイバ給電時のイメージ信号の SNR 低下に対して、CDR による SNR 改善を提案、実証した。また、提案送信機構成による 4 素子のアレーアンテナを試作し、DBF 動作の実証実験を行った。加えて、複数のアンテナ素子を用いた帯域外量子化雑音の低減法を提案し、実証実験によりこの有効性を示した。

文献

- 1) X. Wang *et al.*, 2016 PIMRC, pp. 1-5, Sept. 2016.
DOI: 10.1109/PIMRC.2016.7794572
- 2) N. Suematsu, 2018 RFIT, pp. 1-3, Aug. 2018.
DOI: 10.1109/RFIT.2018.8524086
- 3) I. C. Sezgin *et al.*, IEEE Trans. Microw. Theory Techn., vol. 67, no. 7, pp. 2861-2872, July 2019.
DOI: 10.1109/TMTT.2019.2904265